

補助事業番号 2019M-114

補助事業名 2019年度 毛管を利用したファインバブルの簡易・その場評価法の開発 補助事業

補助事業者名 東京都立大学・准教授・小方聡

## 1 研究の概要

本研究は専門知識や大掛かりな装置を必要とせず、簡便で安価な毛管上昇高さ測定や配管内圧力損失測定により、ファインバブル生成の有無だけでなく、サイズや濃度の評価も可能な手法を開発するものである。

## 2 研究の目的と背景

粒径が数100  $\mu\text{m}$ 以下の気泡であるファインバブルは生理活性効果、浄化作用、高い溶解性、殺菌効果など様々な優れた物理化学性を有していることが知られており、その特性を利用したファインバブル技術は近年、幅広い分野での応用が期待されている。しかしながら、ファインバブルの機能や効果に不明な点が多く、その基本的な物性も現時点では良く分かっていない。このことはファインバブルが新しい技術であることに加え、バブルのサイズや濃度などの測定には高価な装置と多くの時間を有するなど、基本的物性の評価の困難さに起因すると考えられる。しかも、ファインバブルはその多くが1  $\mu\text{m}$ 以下で光学的な測定が困難であり、サイズや濃度の評価が難しいだけでなく、生成の有無さえも判断することが難しい。このような評価の難しさから、現時点でファインバブルを核とする革新的な技術は生み出されていない。

もし簡易的にその場(現場)でリアルタイムにファインバブルの測定が可能となれば、今まで大掛かりな装置を有する一部の企業や研究機関でしか出来なかった評価が中小企業でも出来るようになり、裾野が広がることによる新たな産業の創生に繋がると考えられる。

よって、本研究はファインバブルの革新的技術の創生およびその普及に向け、ファインバブルの物性を実験的に明らかにし、毛管や配管内圧力損失測定により、その場で簡単にファインバブルの評価可能な手法を開発することを目的とする。

## 3 研究内容

### (1) 毛管法によるファインバブル測定

実験装置の概略図を図1示す。内径が0.3mm、0.6mm、1.2mmの3種類の径が異なるガラス製毛細管を用意した。ガラス製毛細管は底面を揃えて固定する。スライドガラスに試液を数滴注入し、ステージを一定の速度でゆっくり上昇させ、毛管現象が始まったらただちに上昇を止めた。このときの水柱の上昇をビデオカメラで撮影し画像解析により水中の高さを算出した。

図2に毛細管をファインバブル水に浸してから3秒後の様子を示す。図3に液体の上昇開始からの経過時間と上昇した水柱の高さの関係を示す。図3より、水柱の高さはある一定値に収束し、どの内径でもファインバブル水の方が水より最終到達高さは低いことが分かる。

図4にサンプリングから約4時間経過したファインバブル水のファインバブル粒径分布の計測結果を示す。縦軸は濃度を横軸は粒径を示す。破線は測定毎のデータを、実線のAverageは三回のデータの平均である。図3より、最頻値の142nmおよび163nm付近に大きいピークが、72nmと248nmにやや小さいピークが見られた。多数のピークは不純物の影響も考えられるが原因は不明である。しかしながら、ナノサイズのバブルが存在していることが確認できた。サンプリング後約4時間経過した試料にも関わらず十分な濃度が存在していることから、ナノスケールのファインバブルが長期安定性を有していることが分かった。

図3および図4から、ファインバブルが存在している場合に、毛管高さが減少していることが分かった。必要十分条件ではないが、毛管高さとファインバブルの有無には相関があることが示された。すなわち、毛管高さの変化を測定するだけで、ファインバブル生成の有無が評価可能であることが分かった。

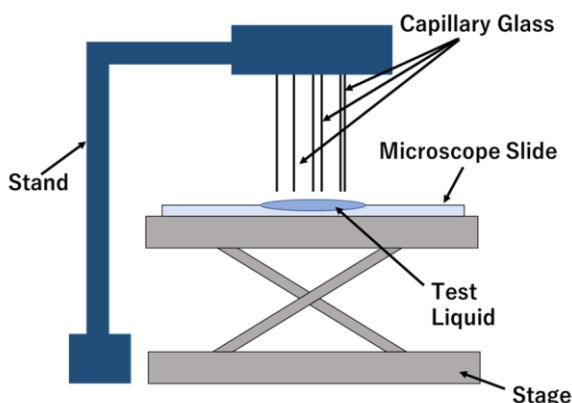


図1 毛管高さ測定装置概略

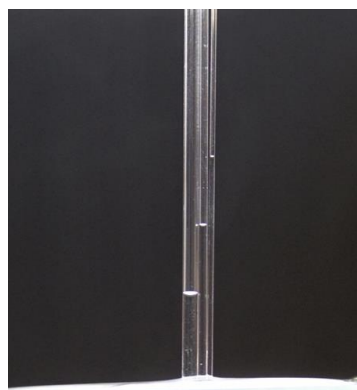


図2 毛管高さ実験の測定例

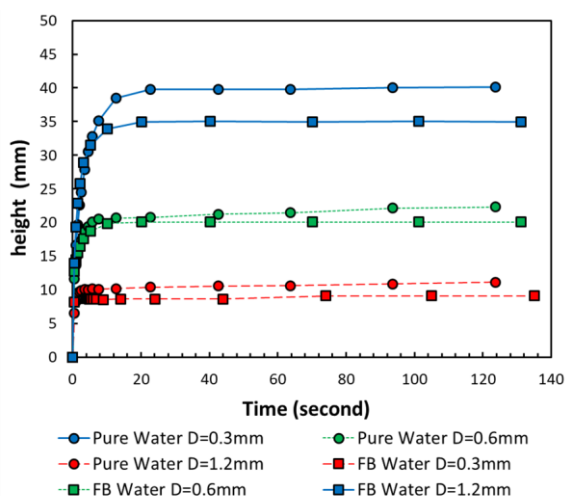


図3 ファインバブル水の毛管高さ測定結果

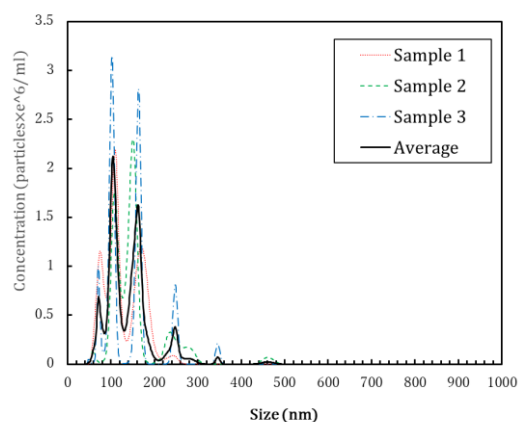


図4 ファインバブルのサイズと濃度

(2) 圧力損失によるファインバブル測定

図5に圧力損失測定装置の概略を示す。装置は給水タンク、ポンプ、ファインバブル発生装置、流量計、圧力変換器、試験部円管(内径15mm、ステンレス鋼製)から構成されている。試験部の円管には0.5mmの静圧孔が300mm離れた位置に2箇所あけられており、その差圧を圧力変換器で測定する。また、流路上流部は2系統に分かれており、ファインバブル発生装置の影響の有無を確認できる。さらに、A-B間の距離を変えることで、ファインバブル発生装置から第一圧力測定孔までの助走距離Lの影響を調査可能とした。

図6に距離Lと以下で定義される管摩擦係数の変化率 $\delta$ の関係を示す。

$$\delta = (\text{ファインバブル発生器通過後の管摩擦係数} - \text{ファインバブル発生器なしの管摩擦係数}) / (\text{ファインバブル発生器なしの管摩擦係数}) \times 100 [\%]$$

図6より、 $Re = 37000$ に着目すると、助走距離Lの増加とともにファインバブルの管摩擦係数の変化率が減少する傾向にあり、 $L > 1.6\text{m}$ で管摩擦係数の変化率がゼロに近づくことが分かった。乱流の助走距離は直径の40倍程度必要であることを考慮すれば、本研究の条件では0.6m程度あれば十分発達している。このことを考慮すれば助走区間内にあるとは考え難い。また、高レイノルズ数条件であるほど、特に $Re > 30000$ の領域では $L < 1.5\text{m}$ における管摩擦係数の変化が大きくなっており、 $Re = 19000$ 、 $22000$ の条件では変化率が $\pm 2.0\%$ の範囲内に収まっていることが分かる。このことは流速の高い流れの方がファインバブルの生成が促進され、圧力損失に対する効果が高い事を示唆している。

本研究結果より、ファインバブル発生により圧力損失が変化することが分かった。すなわち、流動場でファインバブルを連続生成させている場合、その圧力損失を測定し通常の水の場合と比較すれば、ファインバブル生成の有無が評価可能である可能性があることが分かった。

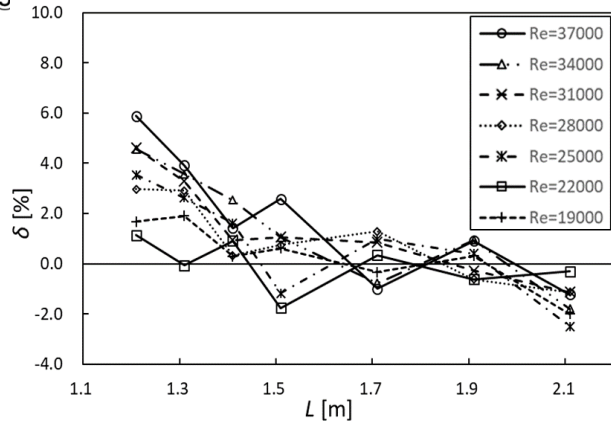
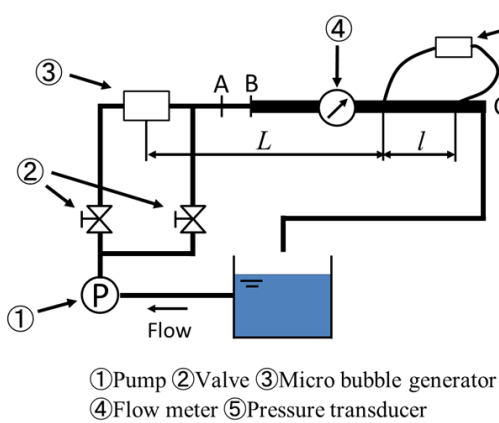


図5 圧力損失評価装置

図6 ファインバブル生成が圧力損失に及ぼす影響

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

毛管法や圧力損失などの非常に簡単な方法でファインバブルの発生の有無が確認できることが示された。これが実用化されれば、様々な分野でファインバブルの優れた性質を利用することが可能となる。有機物で汚染された地下水の土壌浄化など環境分野、カキの成長促進、クルマエビの成長率の増加やイチゴ、ナス、トマト、ナシの収穫量の向上などの農林水産の分野に活かされる。一方、ファインバブルの長期残留性と超音波で破壊されることを利用し、ファインバブルが目的部位に到達した段階で、バブルを破壊して薬剤を細胞内部に導入するというドラッグデリバリーシステムなどにも利用でき、オゾンナノバブル水にすることで使用後の残留性がない革新的な殺菌技術として利用できるなど医療分野にも活かされる。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

ファインバブルに関する研究はこれまで実施しておらず、始めるきっかけになった。また、研究を進めていく過程において、ファインバブルの流動には不明な点が多いことが分かり、今後の研究の柱の一つになることを確信している。よって、本研究は、研究・教育歴の中で重要なターニングポイントの一つになったと考えている。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- ・宮崎 康平、塩加井 陽也、小方 聡、ファインバブル水の流動特性に関する研究、日本流体力学会 年会2019, 2019年9月
- ・宮崎 康平、小方 聡、ナノバブルが液体物性に及ぼす影響、第21回 複雑流体研究会、2019年6月

#### 7 補助事業に係る成果物

なし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東京都立大学（トウキョウトリツダイガク）

住 所： 〒192-0297

東京都八王子市南大沢1-1

担 当 者： 准教授・小方聡（ジュンキョウジュ・オガタサトシ）

担 当 部 署： システムデザイン学部（システムデザインガクブ）

E - m a i l: [ogata-satoshi@tmu.ac.jp](mailto:ogata-satoshi@tmu.ac.jp)

U R L: <http://www.comp.tmu.ac.jp/ogatalab/>